

## 廃食用油再生利用と「UC オイル」

農研機構食品研究部門 真野潤一

### 1. はじめに（著者まえがき）

食品関連事業者から排出される廃食用油は、重要な地域資源の一つといえる。廃食用油を石けんとして再生する取り組みが小規模に行われていることや、バイオディーゼル燃料（BDF）としての利用が増えつつあることは比較的良く知られているが、用途別の統計データや具体的な事業者の取り組みについてはご存知ない方もいらっしゃるのではないだろうか。本稿では、こうした廃食用油再生利用の詳細及び「UC オイル（Used Cooking Oil）」について情報収集した結果を報告する。なお、本稿の内容は、引用時に原文の趣旨と異なる捉え方に変わる可能性が否定できないので、関心をお持ちの箇所は、原文に直接アクセスしてご確認頂きたい。

### 2. 廃食用油利用の現状

まず、平成 24 年時点の廃食用油のリサイクルに関する農林水産省資料を紹介する（[http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokusan/recycle/h24\\_01/pdf/doc2\\_2\\_rev.pdf](http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokusan/recycle/h24_01/pdf/doc2_2_rev.pdf)）。平成 24 年度は、外食産業や食品製造業などの事業系廃食用油の排出量は 32～35 万 t/年と推計されている。このうち、70%に相当する 22～25 万 t が飼料製造に利用されている。また、石けん、塗料、インキ等、工業用には 2～3 万 t（全体の 7%）、そして BDF、ボイラー燃料等燃料及びその輸出に 1～2 万 t（全体の 4%）が供されている。残り 20%に相当する 6～8 万 t は、再生利用困難なものとして廃棄されている。その一方で、非事業系の廃食用油として家庭から排出される量は 9～11 万 t と推計されている。この家庭系廃食用油のうち、0.5～1 万 t が BDF や石けんとして再利用されている一方で、9～10 万 t（家庭系廃食用油の 91%）が廃棄されている。

近年、普及しつつある BDF 生産については、平成 18 年時点で 5,000 kL だったものが、平成 22 年には 20,000 kL と 4 倍に増加している。優良事例としては、家庭系での使用済みてんぷら油を店頭回収し、BDF などにリサイクルしているハンバーグレストラン「びっくりドンキー」の取組例が挙げられる。もう一つの優良事例として、家庭系廃食用油を市内 2,000 箇所の拠点回収を行い、BDF 化、市バス 93 台、ごみ収集車 137 台に利用している京都市の活動が挙げられる。その他、地方自治体での取り組み例として、札幌市、仙台市、横浜市、相模原市、新潟市、静岡市、浜松市、名古屋市、京都市、大阪市、堺市、神戸市、岡山市、北九州市で、家庭用廃食用油の回収やそこから生産された BDF 利用が紹介されている。また、最近では、集団回収による廃食用油の分別収集を行うなど、全国自治体レベルで BDF 化の取り組みが徐々に進みつつある。（なお、平成 22 年の BDF 生産量については、14,000 kL とする報告もあり（[http://www.maff.go.jp/j/biomass/b\\_kenntou/04/pdf/siry6\\_1.pdf](http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_kenntou/04/pdf/siry6_1.pdf)）、数値にずれがある点をご理解頂きたい）。

### 3. 脂肪酸原料としての利用例

石けんや機械油など、廃食用油を脂肪酸原料として利用する具体例については、個別の油脂回収事業者のウェブサイトから、現状を伺い知ることができる。ハルオ株式会社のホームページ (<http://www.haruo-oil.com/eco-miyosi.html>) では、廃食用油から製造された業務用液体食器洗い石けん (18 kg 入り) について紹介されている。西日本油脂事業共同組合の名古屋以西 27 社が学校給食などから回収した廃食用油を、再生石けんにリサイクルして製造されたものとのことである。有限会社ヤマダ油脂のホームページ (<http://yamadayushi.jp/soap/>) においても、廃食用油から生産されたリサイクル石けんが紹介されている。同社では、リサイクル手洗い用石けん 18 kg、ハンドソープ 400 mL、化粧石けん、リサイクル洗濯用粉石けん 10 kg などの製品を揃える。

また、トラスト企画株式会社 (<http://trust-planning.co.jp/business/foodoil-rec>) では、飲食店・食品加工工場・スーパーマーケット・市民 (小売店・公民館等に回収 BOX 設置) より使用済の食用油を回収し、軽油代替燃料及び重油代替燃料の精製や植物性切削油・潤滑油・浸透油・プレス油を製造している。

### 4. 廃食用油利用に関する業界団体の取組み

全国油脂事業共同組合連合会では、廃食用油脂を「UC オイル (Used Cooking Oil)」と定義し、排出事業者、収集運搬事業者及び処分事業者の責務、安全管理ガイドライン等をまとめた資料を公開している (<http://www.zenyuren.or.jp/20140403.pdf>)。

まず、本資料の冒頭で強調されているのが、UC オイルが法律に定められた産業廃棄物であるということである。適正な処理を終えた UC オイル (再生油脂) は、安心して使える再生資源であるが、処理を終えていないものは、不純物や水分の除去が必要である。BDF などの自動車燃料に用いる場合も、飽和脂肪酸量の調整や水分や天かすなど異物除去の処理が必要であり、飲食店から排出された状態では、たとえ有価で取引された場合でも、産業廃棄物として取り扱う必要がある。不十分な品質管理や不法な廃棄を横行させないため、この点が十分に認知される必要がある。

再生処理後の UC オイルの用途で最も大きな割合 (7 割) を占めているのが飼料利用である。飼料用油脂全体から見ると、再生処理後の UC オイルが原料の 5 割強を占めている。このように、UC オイルは国産飼料の自給率向上に寄与し、未使用の油脂と比較して安価な再生油脂が国内畜産製品の競争力強化にも貢献していると考えられる。再生油脂は、そのまま、または豚や鶏の骨や内臓から製造した動物油脂とブレンドされ、主に養鶏用飼料に添加されている。飼料に油脂を添加する主目的は、植物性飼料だけでは必要なカロリーを確保できない場合のカロリーアップと粉末原料の飛散防止である。再生処理後の UC オイルを飼料に使用する場合には、安全性に十分注意を払う必要があり、飼料安全法では、飼料原料のトレーサビリティの確保が重

要視されている。UC オイルは、これまで専門の業者によって取り扱われてきたため、国内では安全性に関する問題は起こっていない。特に、近年、マニフェスト管理（後述）によるトレーサビリティの確立以降は、高い安全性が守られてきた。UC オイルは、食品製造・調理に用いられていた油脂であることから、通常は人間や家畜・家禽の健康に影響を及ぼすほどのダイオキシン類が含まれない。しかし、1999 年、ベルギーで UC オイルに高濃度のダイオキシン類を含むものが混入し、これを含む飼料を食べた豚や鶏などから生産された畜産物のダイオキシン類汚染事故が発生し、EU 全体で大きな問題となった。また、2011 年には、ドイツでも飼料用油脂のダイオキシン汚染が発生した。これは、油脂工場において工業用脂肪酸が誤って飼料用油脂に混入したことが原因とされている。不注意や人為的な過ちによって UC オイルでダイオキシン汚染が発生した場合には、畜産物だけでなく、食品全体へ多大な影響を及ぼす危険性がある。このようなことを起こさないためには、UC オイルを排出する食品産業、食品製造業関係者や、回収業者及び飼料用油脂製造関係者の全てが飼料用油脂の安全性について認識を高めることが重要といえる。

再生処理後の UC オイルの内、飼料用油脂として適さないものは工業用油脂、燃料用に使用し、それらにも使えないものは焼却処分されている。工業用油脂としては、再生処理後の UC オイルの 2 割が脂肪酸原料や塗料用として利用されている。脂肪酸メーカーは、1 社当たりの UC オイル使用量が多く、大口のユーザーと認識されている。また脂肪酸メーカーの側にとっても UC オイルは貴重な国産原料として認知されており、安定した供給が求められているようである。一般的な工業用途では、飼料用ほどの高い安全性を求められないが、工業的な規格を満たすことが求められる。用途によっては細かい選別が必要な場合もある。最近では、燃やしてもダイオキシンを出さないという理由で植物オイルをインクに利用する傾向も見られ、UC オイルの価格の優位性や環境問題を背景として、新たな需要が出てきているようである。

燃料利用の状況としては、昨今、軽油代替の BDF、重油代替の植物油の需要が高まってきていることがポイントとして挙げられる。ただし、こうした状況は、昨今の原油価格高騰と、二酸化炭素排出量削減に対する関心の高まりによって後押しされているだけで、まだ安定した用途としては確立されているとは言えない。二酸化炭素の排出量削減は我が国の急務であり、今後の技術開発で大きな需要が生み出されることが期待されている。BDF については、製造時に副生するグリセリンの処理が問題とされている。現在では、グリセリンの有効な処理方法が確立されておらず、大量に BDF を製造しているところでは、行き場がなく貯蔵しているところもあるようである。このグリセリンの処理技術の確立や用途の確保が見込めれば、BDF は環境に優しい燃料として受容性が高まるものと期待される。ヨーロッパではすでに菜種油から製造された BDF が一般化していることを考えると、大きな可能性は秘めているといえる。重油や灯油の代替燃料としての UC オイルの利用については、現在の石油原油価格のみならずカーボンニュートラルという観点から考えても、日本の経済や環境へ

の貢献が期待できる。

次に、UC オイルに関わる事業者（排出事業者、運搬事業者及び処分事業者）の行動規範について要点を整理すると、UC オイルの排出事業者は、産業廃棄物処理の許可を受けた業者を選定する必要があり、排出事業者は、当該委託にかかる産業廃棄物の引渡しと同時にマニフェストを交付しなければならない。なお、マニフェストとは、産業廃棄物管理表のことを指し、事業者名、事業場名、産業廃棄物の種類、量、荷姿、処分方法、運搬受託者、運搬先の事業場、処分受託者、運搬担当者名、運搬年月日、処分担当者名、処分終了年月日、最終処分を行った場所などを記入する一種の伝票のことである。排出時の注意点としては、UC オイルの品質を保持するため、水や夾雑物が含まれないように留意する、保管場所のそばに機械油などの鉱物油を置かない、廃棄物の管理責任者を決め、常に保管・管理および処分が確実に実施されるようにする等が挙げられている。

収集運搬事業者には、産業廃棄物収集運搬業許可の取得、委託契約の遵守、登録車両の使用、マニフェストを廃棄物とともに流通させることが求められる。また、処分業者には、産業廃棄物処分業許可の取得、許可を有する場所での処理遂行、委託契約の遵守、適正処理と環境保全、二次廃棄物の適正処理及びマニフェストを使用した排出事業者への通知が求められる。そして、回収段階及び再生段階で異物（特に鉱物油）が混入しないよう細心の注意を払うこと、油脂の保管場所は施錠すること、トレーサビリティ確保のため、記録を保管すること、油脂を分類し、販売に際しては利用可能な用途を明示して販売すること等が注意点として挙げられている。また、飼料用油脂については、マニフェスト伝票のない（収集元が確認できない）UC オイルは使用しないこと、家庭から排出された UC オイルは使用しないこと、飼料安全法に従い、トレーサビリティの確保を行うこと、PCB 等有害物質及び酸価等の品質について定期的に検査を行うこと、飼料安全法で定められた成分規格（不溶性不純物の含有量が重量換算で 0.15%以下、牛の代用乳用配合飼料については同 0.02%以下）への適合を確認すること、飼料安全法に基づく飼料製造業者の届出を行うこと、飼料安全法に基づく動物性油脂の表示をすることが必要とされる。

## 5. 新技術開発動向

UC オイルからの BDF 製造については、アルカリ触媒法を用いる場合には、混在する遊離脂肪酸がアルカリ触媒と反応して生成物収率が著しく低下するために予め除去（脱酸）する必要がある。そこで、脱酸工程を省き、地域導入可能な製造技術として、超臨界メタノール法などの触媒を使用しない BDF 製造技術の開発が進められてきた。農研機構では、メタノールでエステル交換すると同時に熱分解を行う STING 法

（<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2005/narc05-03.html>）を開発し、食品産業廃棄物 BDF 化技術実証協議会による技術実証が行われた。また、

農研機構では、設備投資にも強みを有する無触媒過熱メタノール蒸気法 (<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nfri/2007/nfri07-10.html>) による BDF 製造プロセスを開発し、千葉県で 400 L/日での技術実証を行った。

ヤンマーエネルギーシステム (株) では、廃食用油を再生可能エネルギーとして活用するため、「FAME (脂肪酸メチルエステル)」及び {SVO (ストレートベジタブルオイル)} の両方に対応可能なバイオディーゼルマイクロコージェネレーション「CP25BDZ-TC」(発電出力 25 kW (連系時)、発電効率 35.0%、回収熱量 34 kW、廃熱回収率 48.0%) を開発し、2017 年 7 月に販売を開始した (ジャパンフードサイエンス、2017-6, 12-15(2017))。

BDF 製造技術に関しては、生物工学的技術の活用による高度化が期待されており、近年では、BDF 製造時における固定床式酵素リアクターが開発され、グリセロール除去のための改良が行われた (Hama S., et al., *Bioresour. Technol.*, 135, 417-421 (2013))。また、BDF 製造時に副生する低純度グリセロールを基質とし、*Moniliella megachiliensis* によって化学工業原料としてのエリスリトールを発酵製造する取組が報告された (Kobayashi Y., et al., *Lett. Appl. Microbiol.*, 60, 475-480 (2015))。副生グリセロールの利用については、酵母 *Pseudozyma sp.* TYC-2187 株によりトリアシルグリセロールに変換する技術も開発されている (Takakuwa N., et al., *J. Oleo Sci.*, 62 (8), 605-612 (2013))。

UC オイルを基質とした有価物の発酵生産については、*Pseudomonas aeruginosa* D 株を用いたラムノリピッド系界面活性剤の製造 (George S. and Jayachandran K., *J. Appl. Microbiol.*, 114, 373-383 (2013))、*Penicillium chrysogenum* SNP5 株を用いたリポペプチド系界面活性剤 (Gautam G., et al., *J. Bioprocess. Biotech.*, 4, 6 (2014))、*Yarrowia lipolytica* SWJ-1b 株によるクエン酸の製造 (Liu X., et al., *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 175, 2347-2356 (2015))、*Blakeslea trispora* によるカロテンの製造 (Nanou K. and Roulas T., *Bioresour. Technol.*, 203, 198-203 (2016))、*Cupriavidus necator* 及び *Pseudomonas oleovorans* を用いた短鎖長-または中鎖長のポリヒドロキシアルカン酸の製造 (Cruz M. V., et al., *New Biotechnol.*, 33, 206-215 (2016)) 等が報告されている。

UC オイルの化学修飾による高付加価値化への取組については、例えば、双性イオン界面活性剤の製造技術 (Zhang Q.-Q., et al., *Sci. Rep.*, doi: 10.1038/srep09971 (2015))、酸化安定性及び低温条件下での特性に優れた界面活性剤の製造技術 (Li W. and Wang X., *J. Oleo Sci.*, 64, 367-374 (2015))、酸化カルシウムとハイドロタルク石を用いた反応による炭化水素の製造技術 (Romero M. J., et al., *Waste Manag.* 47, 62-68 (2016))、超音波処理によるコポリマーの製造技術 (Shahi M. N., et al., *Materials*, 10, 315; doi: 10.3390/ma10030315 (2017)) が報告されている。また、ラッカーゼを用いた酵素的なジカルボン酸の製造技術についても報告が行われている (Takeuchi M., et al., *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 27, 1-6 (2016))。

## 6. おわりに（著者感想）

上述のとおり、外食産業や食品製造業などの事業系廃食用油の多くは、有価物として取引されており、その再生利用は、十分に産業として成立している。これは、廃食用油がトリグリセリドを主成分とする純化学物質に近い状態で収集できること、食品関連事業者からまとまった量を回収できること、輸送に便利な液体として回収できること、厳密な精製度を要求しない飼料や脂肪酸としての用途が広く存在することなど、回収と再生の両方を低コストで実施できることが大きな理由と考えられる。

廃食用油は、既に、その回収や再生を担う事業者が存在しており、今後バイオ変換技術を社会実装していく上で重要なフィールドの一つと考えられる。現在の用途である飼料や脂肪酸以上に、付加価値の高い最終産物をバイオテクノロジーで効率的に生産できれば、比較優位性は明確であり、従来用途からの転換のチャンスは広がっているように感じられる。また、株式会社カネカでは、植物油を原料とするバイオプラスチック（アオニレックス）の生産が既に始まっており（<http://www.kaneka.co.jp/service/news/n20110512/>）、廃棄植物油を利用した生産にも期待が集まる。こうした技術により、廃食用油の有効利用の道が今後開けていくものと期待される。

廃食用油の状況を見ると、再生利用を義務付ける食品リサイクル法の整備や品質管理を求める業界団体の存在など、社会・産業としての成熟を経て現在があるという印象を持つ。今後、地域バイオプロセスの構築、特に、これまで期待を集めてきたセルロース系バイオマスの再生利用が実社会で広がるためには、再生を義務付ける法律や、場合によっては、国、自治体による助成金なども必要になるのかもしれない。また、生産物の品質を守るためには、法的規制や業界団体によるガイドラインの整備といった産業としての成熟も必要になるのではないだろうか。一歩先をゆく廃食用油の現状から、未来のセルロース利用型社会の姿も垣間見ることができるようと思われる。